Aus dem Allgemeinen Institut gegen die Geschwulstkrankheiten
im Rudolf Virchow-Krankenhaus der Stadt Berlin
Direktor: Prof. Dr. H. CRAMER

Beiträge zur Dosierungsfrage in der Radiumemanations- und Radiumsalbentherapie

INAUGURAL-DISSERTATION

zur

Erlangung der Medizinischen Doktorwürde
an der
Friedrich-Wilhelms-Universität zu Berlin

vorgelegt von

HILDE JÜTERBOCK
aus Berlin

Tag der Promotion: 5. August 1938

BERLIN 1938

Neuland-Druck, vorm. Druckerei Studentenwerk, Berlin N 4, Johannisstr. 1

M 160

Gedruckt mit Genehmigung
der
Medizinischen Fakultät der Universität Berlin

Dekan: Prof. Dr. SIEBECK
Referent: Prof. Dr. H. CRAMER
Korreferent: Prof. Dr. W. FRIEDRICH

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

INHALTSÜBERSICHT.

		Seite
1.	Einleitung	4
2.	Versuchsanordnung	4
3.	Die Ionisationskammer	6
4.	Die Emanationsquelle	6
5.	Die Abhängigkeit der Meßanzeige vorliegender Meßanordnung von dem Kammervolumen	7
6.	Die Abhängigkeit der Meßanzeige von der Kammerspannung	9
7.	Die Benutzung des vorliegenden Verfahrens der Emanationsbestimmung zur Untersuchung undichter radioaktiver Präparate	9
8.	Vergleiche unseres Verfahrens der Emanationsbestimmung mit anderen Verfahren	11
9.	Zur Dosierung in der Salbentherapie und zur Emanationsschutzmessung	12
10.	Die Dichtigkeitsprüfung von Radiumpräparaten	13
11.	Zusammenfassung	14
12.	Schriften	15

EINLEITUNG.

Es ist bisher ein Nachteil in der Radiumsalbentherapie gewesen, daß man nach ihrer Herstellung den wahren Gehalt der anzuwendenden Salben an Alpha- und Beta-Strahlung nur mit mühsamen physikalischen Untersuchungsmethoden nachprüfen konnte, da es an einem für die ärztliche Praxis geeigneten handlichen Meßgerät mangelt. Es sind nun hier die Grundlagen für die Herstellung eines solchen Meßgerätes erarbeitet worden.

Als Nebenfrage bei unseren Untersuchungen tauchte die Frage auf, ob es nicht möglich wäre, mit demselben Verfahren auch die aus einem undicht gewordenen Radiumpräparat entweichende Emanation in einfacherer und schnellerer Weise als bisher festzustellen und quantitativ zu messen. Mit einem solchen Verfahren würde man gleichzeitig eine Gütebestimmung der bisher üblichen Methoden zur Bestimmung undichter Radiumpräparate erhalten können, was für den praktischen Gebrauch dieser Methoden von Wert sein dürfte.

Die vorliegenden Arbeiten machen besondere Schwierigkeiten im Gegensatze z. B. zu Arbeiten mit Röntgenstrahlen, weil man mit den gewöhnlich zur Verfügung stehenden Spannungen bei Messungen mit Alpha-Strahlen wegen ihres großen Ionisierungsvermögens physikalisch keine „Sättigungsströme" erhält. Eine „Absolutmessung", wie sie für Röntgenstrahlen durchführbar ist, ist daher auf vorliegendem Gebiet nahezu unmöglich. Dagegen erscheint es möglich, für eine fest gegebene Versuchsanordnung nachzuprüfen, inwieweit sich unter gleichen Verhältnissen wiederholbar immer die gleichen Anzeigen ergeben, und eine dieser Anzeigen dann einstweilen als relatives Maß in die Dosismessung von radioaktiven Salben einzuführen.

Es ergeben sich dann folgende Aufgaben:

1. Angabe einer geeigneten Meßanordnung mit genau vorgeschriebenen und möglichst leicht herstellbaren, passenden räumlichen Abmessungen,
2. Prüfung der Wiederholbarkeit der mit dieser Meßanordnung erzielbaren Meßangaben.

VERSUCHSANORDNUNG.

Bei den Versuchen wurde zur Messung der radioaktiven Intensitäten die sogenannte Ausschlagmethode benutzt, d. h. die Messung des Spannungsabfalles an einem sehr hohen Widerstande, der mit einer Meßkammer in Reihe geschaltet ist (siehe Abb. 1.).

Maßgebend hierfür war die Forderung, daß die Werte möglichst an einem Zeigerinstrument unmittelbar ablesbar sind.

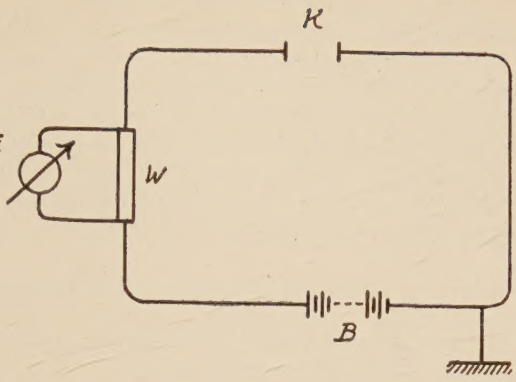

Abb. 1.

Das Elektrometer E mißt die Spannung, die an dem Hochohmwiderstande W liegt ($W = 6 \cdot 10^{12}$ Ohm bei 20 Grad Celsius), und die von der Batterie B geliefert wird. K. ist die Ionisierungskammer, in die die jeweils zu untersuchende Radiumemanation bzw. ihre Folgeprodukte hineingebracht wurden.

Als Elektrometer wurde ein Wulffelektrometer benutzt, dessen Empfindlichkeit für verschiedene Spannungen einstellbar war. Für hohe Spannungen wurde ein Quadrantelektrometer mit Zeigerablesung (Siemens) benutzt.

Findet in K keine Ionisierung statt, so zeigt das Elektrometer keine Spannung an, da ja der Stromkreis in K unterbrochen ist. Bei eintretender Ionisierung zeigt das Elektrometer E einen Ausschlag an, der um so größer ist, je stärker die Ionisierung in der Kammer wird. Der Zusammenhang zwischen dem Elektrometerausschlag und der Ionisierungsstärke I in der Kammer ist leicht zu berechnen und ist in Tabelle 1 angegeben.

Am Elektrometer E beobachtete Spannung in Einheiten der Batteriespannung.	Ionisierungsstärke I in relativem Maß *).
0	0
0,1	11
0,2	25
0,3	43
0,4	66,5
0,5	100
0,6	150
0,7	234
0,8	440
0,9	900
0,95	1900

Tab. 1.

*) Nach bekannten Stromverteilungsgesetzen ist $I = \frac{C \cdot E}{1 - E}$, worin C eine Konstante ist. In unseren Versuchen wurde C willkürlich = 100 gesetzt.

Mit Hilfe dieser Tabelle läßt sich auch leicht die Abhängigkeit der Erscheinungen von verschiedenen Kammerspannungen untersuchen. Die relativen Ionisierungseinheiten sind hierbei immer dieselben und unter einander vergleichbar. Jedesmal, wenn am Elektrometer z. B. die halbe Batteriespannung zu beobachten ist, dann ist der Kammerwiderstand von gleicher Größe wie der Hochohmwiderstand. Die Ionisierung hat dann also auch immer denselben Wert, also für die halbe Batteriespannung (V = 0,5) : I = 100.

DIE IONISATIONSKAMMER.

Die Ionisationskammer hatte grundsätzlich die in Abb. 2 angegebene Ausführung. Ein Messingrohr (1) ist auf der einen Seite durch einen Bernstein (2) luftdicht abgeschlossen. Der Bernstein hat in der Mitte Bohrung zur Aufnahme des Gewindes G, an dessen in die Kammer hineinragendem Ende sich die Elektrode E befindet und dessen freies Ende dem Stromanschlusse (4) dient. Diese Elektrode ist also von der Kammerwand durch den Bernstein elektrisch isoliert. Der andere Stromanschluß (3) ist an der äußeren Kammerwand angebracht, sodaß also die zweite Elektrode durch die Kammerwand selber gebildet wird. Am andern Ende des Messingrohres ist ein Topf luftdicht aufzusetzen (5 = luftdichter Abschluß des Topfes mit dem Messingrohr), in den der emanierende Stoff (P) hineingelegt wird. Durch Drehung an dem Gewinde G kann die Elektrode in dem Zylinder hin- und herbewegt und dadurch das Volumen der Ionisationskammer in meßbarer Weise abgeändert werden.

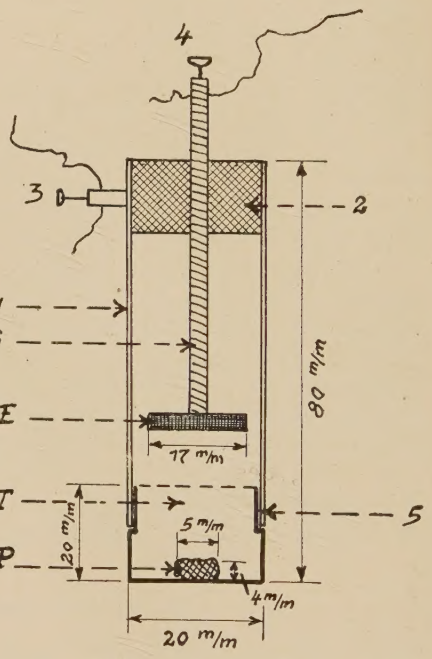

Abb. 2.

DIE EMANATIONSQUELLE.

Als emanierender Stoff wurde zunächst keine radioaktive Salbe benutzt, um die, wie sich herausstellte, großen Schwankungen und Fehler auszuschalten, die bei der Herstellung,

Mischung und Anwendung der Salbe (Oberflächenabhängigkeit) auftreten. Um die Grundlagen des neuen Meßverfahrens prüfen zu können, mußte eine möglichst konstante Emanationsquelle benutzt werden. Wir verwendeten daher einige uns von der Auer-Gesellschaft liebenswürdigerweise zur Verfügung gestellte Kristalle, deren Gehalt an Radiumelement etwa 0,01 mg betrug. Vor jeder Benutzung wurde das Präparat einige Stunden gelüftet, um die Emanation, die sich angesammelt hat, während das Präparat verschlossen stand, für unsere Versuche ausschalten zu können.

Der absolute Gehalt des Kristalls an Radiumelement wurde durch Vergleich mit einem Präparat bekannter Stärke nach sechswöchigem luftdichten Einschluß (Einschmelzen des Kristalls in eine Glasröhre) bestimmt. Die Konstanz der Emanationsleistung bzw. der Versuchsanordnung wurde dadurch geprüft, daß in mehreren Versuchen nach einander bei einer bestimmten Stellung der Elektrode (s. Abb. 2) und bei Anwesenheit des Präparates die Ausschläge festgestellt wurden, die man nach bestimmten Zeitabständen erhielt. Bei einem Vergleiche der Ausschläge unter einander zeigte sich dann, daß sie mit einer Genauigkeit von $\pm$ 20 % übereinstimmten. Mit Feststellung dieses Ergebnisses war der Weg zu quantitativen Untersuchungen mit Hilfe dieser Emanationsquelle und in der angegebenen Versuchsanordnung gegeben.

DIE ABHÄNGIGKEIT DER MESSANZEIGE VORLIEGENDER MESSANORDNUNG VON DEM KAMMERVOLUMEN.

Zunächst wurde die Abhängigkeit der Meßanzeige *) bei Benutzung des oben genannten Emanationspräparates von dem Kammervolumen untersucht. Wenn F die Fläche der Elektrode in Abb. 2 ist und a der Abstand der Elektrode vom Boden der Kammer, dann ist das Volumen der Kammer durch die Formel $V = a \cdot F$ in erster Annäherung gegeben. Der elektrische Widerstand der Kammer beträgt dann $W_k = {}^a/_F$. Bei Verringerung von a, dem Abstand der Elektrode vom Kammerboden, werden Kammervolumen und elektrischer Widerstand kleiner. Eine Verringerung des Widerstandes hat also ein Größerwerden des Elektrometerausschlages zur Folge. Ebenso ergibt eine Verkleinerung des Volumens auch eine Vergrößerung des Ausschlages, weil nämlich dieselbe Anzahl der von dem Emanationspräparat in gleicher Zeit erzeugten Ionen auf ein kleineres Volumen zusammengedrängt werden, d. h. also ihre Konzentration wird entsprechend größer. Daraus folgt, daß in erster Annäherung eine Vergrößerung der Meßausschläge in quadratischer Abhängigkeit von a erfolgen muß. Der Einwand, daß

*) Unter Meßanzeige verstehen wir die in Tabelle 1 angegebene Ionisierungsstärke I in relativem Maß.

der Kammerwiderstand durch den Abstand des Elektrodenrandes von den Seitenwänden der Kammer bestimmt wird, erwies sich als hinfällig. Erstens steigt nämlich die Emanation vom Präparat aus auf, also von der Unterseite der Kammer, sodaß sie in der Hauptsache den Raum zwischen Unterseite der Elektrode und dem Kammerboden einnimmt; das wäre also die Größe, die oben mit $W_k = a_F$ bezeichnet worden ist. Zweitens wird die Emanation durch die an der Elektrode liegende Spannung auf diese konzentriert, sodaß verhältnismäßig wenig geladene Teilchen an der Elektrode vorbeigehen und der Widerstand in der Hauptsache durch den mit Emanation angefüllten Raum zwischen Elektrode und Kammerboden bestimmt wird. Unsere Untersuchungen bestätigten diese Annahme.

Bei kleinen Abständen des Kolbens E vom Präparat, mithin bei kleinem Kammervolumen, treten als störend hinzu:

1. ungleichmäßige Strahlenverteilung in Nähe des Präparates,
2. etwaige Rand- und Sekundärwirkungen an der Elektrode durch die mit Annäherung an das Präparat quadratisch zunehmende Präparatenstrahlung,
3. ungenaue Volumenbestimmung wegen der räumlichen Ausdehnung des radioaktiven Präparates.

Bei großen Abständen des Kolbens vom Präparat (bei großem Volumen) macht sich als störend bemerkbar, daß sich die Emanation nicht genügend gleichmäßig verteilt.

Hieraus geht besonders deutlich hervor, daß die nachfolgenden Untersuchungsergebnisse genau an die angegebenen geometrischen Abmessungen der Versuchsanordnung gebunden sind. Bei einem anderen Versuchsaufbau können sich also andere Zusammenhänge ergeben.

Bei den Versuchen wurde so vorgegangen, daß nach Lüftung des Präparates die Zunahme der Ionisierung, d. h. die Anreicherung der Emanation in der Kammer, in Abhängigkeit von der Zeit gemessen wurde. Die Zunahme der Ionisierung drückte sich darin aus, daß das Elektrometer E (Abb. 1) einen stetig zunehmenden Ausschlag anzeigte, der dann mit Hilfe von Tabelle 1 in Ionisierungseinheiten in relativem Maß umgerechnet wurde. Der Stand des Elektrometers wurde je nach der Schnelligkeit des Anstieges alle 10, 15, 30 oder 60 Sekunden abgelesen. Nach Umrechnung gemäß Tabelle 1 wurde eine Kurve mit der Zeit als Abszisse und den Ionisierungseinheiten als Ordinate gezeichnet und aus dieser Kurve der mittlere Anstieg der Ionisierung in der Zeiteinheit abgelesen.

Auf diese Weise ergab sich eine quadratische Abhängigkeit der Ionisierung vom Kammervolumen (s. Tabelle 2) unter den oben angeführten Einschränkungen.

Kammervolumen in ccm	I/min beobachtet	I/min berechnet	Differenz	Differenz in % der berechneten Werte
2,9	28,4	35,8	− 7,4	− 20,6
10,6	3,3	2,7	+ 0,6	+ 22,2

Tab. 2.

Wie man sieht, ist die Genauigkeit der quadratischen Volumensabhängigkeit von der Ionisierung mit ± 20 % Genauigkeit erfüllt. Die Kammerspannung bei den obigen Untersuchungen betrug 220 Volt.

DIE ABHÄNGIGKEIT DER MESSANZEIGE VON DER KAMMERSPANNUNG.

Der Sättigungsvorgang bei Ionisierungsprozessen ist im allgemeinen derart, daß der Kammerstrom mit zunehmender Spannung zunimmt und allmählich einem Grenzwert zustrebt. Die Spannung, bei der dieser Grenzwert erreicht ist mit der für den Versuch ausreichenden Annäherung, nennt man bekanntlich: Sättigungsspannung der Anordnung.

Im Gegensatz zu diesen Tatsachen ergab sich bei unserer Versuchsanordnung mit zunehmender Kammerspannung eine Verminderung, bei Abnahme der Kammerspannung eine Erhöhung der Meßanzeige bei sonst gleichen Verhältnissen. Dieser Befund hängt wahrscheinlich mit der besonderen Abmessung der von uns benutzten Versuchsanordnung zusammen. (s. Tabelle 3).

Kammerspannung in Volt	I / min.
7,5	3000
80	300
225	85
480	11
720	2,8

Tab. 3.

Bei der praktischen Ausgestaltung eines Meßgerätes für die Radiumemanation würde es also wesentlich vorteilhafter sein, mit einer möglichst geringen Kammerspannung zu arbeiten. Hierbei wird für den Praktiker nur eine Grenze gesetzt durch den Umstand, daß Elektrometer von hoher Empfindlichkeit für den Nichtphysiker schwer zu handhaben sind, und daß für ein Meßgerät der Praxis nur ein Zeigerelektrometer in Frage kommt.

DIE BENUTZUNG DES VORLIEGENDEN VERFAHRENS DER EMANATIONSBESTIMMUNG ZUR UNTERSUCHUNG UNDICHTER RADIOAKTIVER PRÄPARATE.

Da radioaktive Präparate in genau derselben Weise Radiumemanation aussenden, wie das von uns benutzte Emanations-

präparat, liegt es nahe, das vorliegende Verfahren auch zur Untersuchung undichter radioaktiver Präparate zu benutzen.

Die oben angegebenen Werte können als Grundlage für diese Untersuchungen benutzt werden, da die von einem Emanationspräparat von 0,01 mg Radiumelementgehalt ausgesandte Emanation gerade dem Wert entspricht, den ein Radiumpräparat von 1 mg Radiumelementgehalt aufweisen würde, wenn es eine Undichtigkeit hat, die seinen Gamma-Strahlenwert um 1 % verändern würde. Vorausgesetzt ist hierbei, daß 1 mg Radiumelement durchschnittlich die kleinste im praktischen Gebrauch angewandte Einheit ist und daß nach den Vorschriften der deutschen Röntgengesellschaft für den Strahlenschutz in medizinischen Radium-Betrieben (Din Rönt 4/1933 § 2) diese Vorschriften nur für radioaktive Träger gelten, deren Gesamtaktivität mehr als 0,5 mg Radiumgleichwert beträgt.

Da in unserer Anordnung mit einem 0,01 mg-Präparat ein Ausschlag von 30 Skalenteilen pro Minute bei Benutzung der Netzspannung von 225 Volt entsteht — es würde sogar schon die Zeit von einer halben Minute genügen —, haben wir mit unserem Verfahren eine Methode gewonnen, mit der wir innerhalb einer halben Minute die oben angegebene Undichtigkeit eines 1 mg-Präparates feststellen können.

Es wird hiermit eine merkliche Lücke ausgefüllt, die bisher darin bestanden hat, daß dem Praktiker keine Möglichkeit an die Hand gegeben worden ist zur Feststellung, wann ein Präparat so undicht geworden ist, daß dies für die Gamma-Strahlendosierung von maßgeblicher Bedeutung wird. Besonders in Instituten, die Radiumsalben therapeutisch verwenden, findet man nach den üblichen Verfahren, z. B. bei dem Verfahren mit dem Wattebausch, oft einen Niederschlag, der indessen nicht von der Undichtigkeit des Präparates herrührt, sondern von Niederschlägen, die sich an dem Präparat als Folge einer Emanationssalbenbehandlung in der Nähe des Aufbewahrungsraumes der Präparate festgesetzt haben. Bei dieser Methode wird ein Wattebausch gemäß den Bestimmungen (Vorschriften für Strahlenschutz in medizinischen Radium-Betrieben: Din Rönt 4/1933 § 4c, 1) dem zu untersuchenden Präparat unter luftdichtem Verschluß mindestens 12 Stunden ausgesetzt und dann auf den vorhandenen Niederschlag elektrometrisch untersucht. Dabei ergeben sich dann die oben genannten Unstimmigkeiten, die den Praktiker leicht irreführen.

Dasselbe trifft z. B. auch bei Instituten zu, in denen mit sehr hochwertigen Radiumpräparaten (30 mg und mehr) gearbeitet wird. Wir haben mit den bisher üblichen Prüfverfahren gefunden, daß hochwertige Radiumpräparate besonders bei schwacher Filterung Spuren von Emanation aussenden, ohne daß diese Präparate als undicht bezeichnet werden müßten. Wir haben gefunden, daß eine Undichtigkeit von 0,0001 mg nach 24-stündiger Expositionszeit mit den bisherigen Verfahren nach-

weisbar ist, eine Undichtigkeit, die ohne Zweifel praktisch bedeutungslos ist.

Es ist ferner auch wichtig, genau zu wissen, wie lange man ein Präparat untersuchen muß, um eine etwaige Undichtigkeit festzustellen, da die in den Bestimmungen angegebene Zeit von 12 Stunden nur einen Maximalwert darstellt, während es doch für die Praxis von großem Gewinn wäre, wenn man mit einer möglichst geringen Expositionszeit auskommen würde.

VERGLEICHE UNSERES VERFAHRENS DER EMANATIONSBESTIMMUNG MIT ANDEREN VERFAHREN.

Es wurde dann unser Verfahren mit verschiedenen in der Praxis bisher benutzten Verfahren verglichen und zwar zuerst mit der elektrometrischen Methode, bei der das Emanationspräparat zwei geladenen Elektroden unter der Spannung von 225 Volt in verschieden langen Zeiten ausgesetzt wurde und deren Niederschlag nachher mit dem Rutherford - Elektrometer (s. Abb. 3) gemessen wurde. Das ist ein den Bestimmungen über Strahlenschutz in medizinischen Radium-Betrieben (§ 4 c, 1) entsprechendes Verfahren.

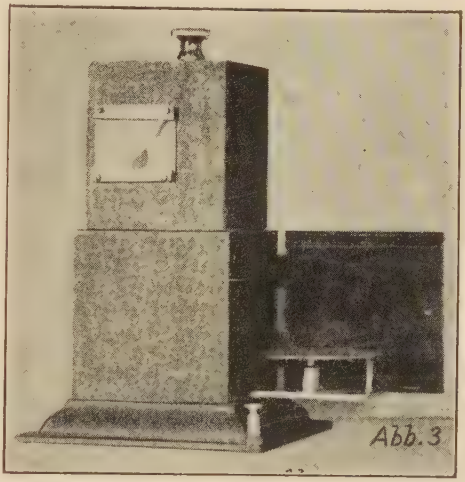
Abb. 3

Ferner stellten wir Vergleichsversuche an mit dem Wattebauschverfahren, mit dem Degea-Radometer und mit dem kürzlich von der Auer-Gesellschaft herausgebrachten Densophoten.

Die Zeiten, nach denen ein einwandfreier Emanationsnachweis bereits möglich war, werden in Tabelle 4 angegeben.

Verfahren	Mindestexpositionszeit
das von uns benutzte Verfahren	1/2 Minute
2 geladene Elektroden mit Elektrometer	15 Minuten
Wattebausch und Elektrometer	1 Stunde
Degea-Radometer	2 Stunden
Densophot	2 Stunden

Tab. 4.

Voraussetzung für unsere Arbeit war die Annahme, daß die Emanationen von 0,01 mg Radiumelementgehalt für den praktischen Gebrauch als ungefährlich angenommen werden konnten. Die Vorschriften für den Strahlenschutz in medizinischen Radium-Betrieben gelten gemäß § 2 nur für radioaktive Träger, deren Gesamtaktivität mehr als 0,5 mg betragen.

Die Versuche wurden so ausgeführt, daß die mit dem Emanationspräparat bei festgegebenen Volumina *) der Versuchsanordnung erzielten Emanationsmengen solange in Wirkung waren, bis ein zweifelloser, auf die Emanation zurückzuführender Effekt bei den verschiedenen Verfahren nachweisbar war. Bei der Methode mit den geladenen Elektroden und der mit dem Radometer von der Auer-Gesellschaft wurde der dreifache Selbstablauf des Elektrometers als einwandfrei meßbarer Ausschlag angenommen.

ZUR DOSIERUNG IN DER SALBENTHERAPIE UND ZUR EMANATIONSSCHUTZMESSSUNG.

Die vorausgegangenen Erörterungen liefern gewisse Grundlagen zur Dosierung in der Salbentherapie, soweit es sich bei der Dosierung um die Wirkung der Alpha- und Beta-Strahlen handelt. Zu diesem Zwecke wird eine Probe der zumessenden Salbe in die Meßkammer K (s. Abb. 2) an die Stelle des vorher benutzten Emanationspräparates P gebracht. Je nach der Konzentration der Salbe ergibt sich dann am Elektrometer E ein mehr oder weniger großer Ausschlag, der nach Umrechnung gemäß Tabelle 1 der Konzentration der Salbe an Radiumemanationsprodukten proportional ist. Es ist auf diese Weise erstmalig möglich, auf schnelle Weise festzustellen: 1. ob eine gegebene Radiumsalbe tatsächlich einen radioaktiven Gehalt besitzt, 2. ob die Konzentration dem gewünschten bzw. dem mit den bekannten Tabellen berechneten Wert entspricht.

Außerdem ist die Methode ohne Weiteres für die Emanationsschutzmessungen brauchbar, denn da 0,01 mg Emanation laut Tabelle 4 in einer halben Minute einwandfrei feststellbar sind, ist die Emanation von 0,5 mg Radium in dem fünfzigsten Teil dieser Zeit = 0,6 Sekunde nachweisbar. In der Voraussetzung, daß nur Emanationsmengen von einem Radiumgleichwert, der größer als 0,5 mg Radium ist, gesundheitsschädlich sind, kann man also sagen, daß mit unserer Methode die Emanationsmengen, die größer als 0,5 mg Radiumgleichwert sind, mit aller Sicherheit feststellbar sind.

*) $\sim$ 4 ccm, mit Ausnahme des Radometers, dessen Volumen etwa 40 ccm betrug.

DIE DICHTIGKEITSPRÜFUNG VON RADIUMPRÄPARATEN.

Die von uns entwickelte Methode kann zur Bestimmung undichter Radium-Präparate benutzt werden. Wie die weiteren Versuche gezeigt haben, stört indessen bei diesen Untersuchungen mit starken Präparaten die Gamma-Strahlung derselben insofern, als die von den Gamma-Strahlen beim Auftreffen auf die Kammerwand massenhaft ausgelöste Beta-Strahlung den Ausschlag in unserem Verfahren, der hauptsächlich auf dem Vorhandensein von Alpha-Strahlen beruht, neutralisiert, da die Alpha-Strahlen positiv, die Beta-Strahlen dagegen negativ geladen sind. Aus diesem Grunde ist für einen einwandfreien Nachweis der Undichtigkeit von radioaktiven Präparaten nach unserer Methode die Entfernung der Gamma-Strahlung erforderlich. Dies haben wir mit dem in Abb. 4 gezeigten Gerät erreicht.

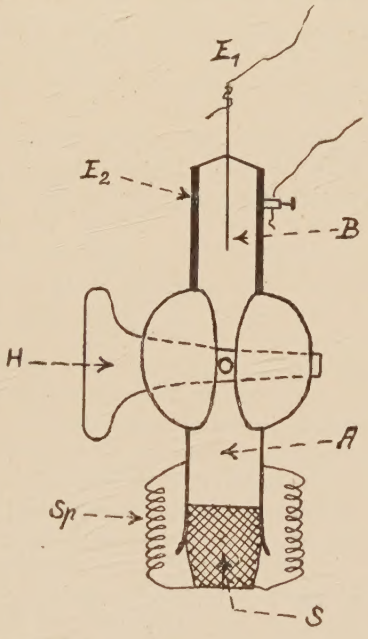

Abb. 4.

Der Vakuumhahn H besitzt an seinen beiden Enden je ein Ansatzstück, die Räume A und B. Der Raum B ist aus Quarz und trägt auf der Innenseite einen Metallniederschlag, der als Elektrode dient (E_2). Von oben hinein in den Raum B ist isoliert die andere Elektrode E_1 eingeführt, sodaß also dieser Ansatz des Hahnes der Ionisationskammer unserer früheren Versuche entspricht, wie sie in Abb. 1 mit K bezeichnet ist. Das andere Ansatzstück ist lediglich ein Hohlraum, der der Aufnahme des zu prüfenden Präparates dient. Dieser Raum trägt an der Innenseite der unteren Öffnung einen Schliff, in den der Stopfen S hineinpaßt, der für einen luftdichten Abschluß des Raumes nach Außen sorgt. Hierfür dienen auch die Zugspiralen Sp, die den Stopfen fest in der Öffnung halten. Ein luftdichter Abschluß des Raumes A ist auf jeden Fall erforderlich, da sonst nämlich die Emanation statt in den Meßraum B in die Außenluft entweichen würde und somit eine exakte Messung unmöglich würde. Hahn und Schliff müssen deshalb stets gut eingefettet sein.

Bei den Versuchen mit diesem Gerät wird das Präparat in den Raum A gebracht; nach einer halben Minute wird der Hahn H geschlossen, sodaß die etwa von undicht gewordenen Präparaten ausgegangene Emanation in dem Raum B, der die Meß-

elektrode enthält, eingeschlossen wird. Nach Schließung des Hahnes H und Entfernung des zu messenden Präparates wird daher bei einer vorhandenen Undichtigkeit des geprüften Präparates das Elektrometer einen konstanten Ausschlag anzeigen. Wenn dagegen das Präparat dicht gewesen ist, wird nach seiner Entfernung aus dem Raum A das Elektrometer keinen Ausschlag anzeigen.

Zu den Versuchen wurde ein 10 mg-Präparat benutzt, das, wie oben angegeben, in den Raum A gebracht wurde; um eine Undichtigkeit des Präparates nachzuahmen, wurde außerdem mit dem Präparat zusammen unser Versuchsemanationspräparat von 0,01 mg Radiumgleichwert in den Raum A gebracht. Es zeigte sich dann, daß in unserer Anordnung bereits nach einer halben Minute ein deutlicher Ausschlag am Elektrometer nach Schließung des Hahnes H bestehen blieb. Dieser Ausschlag bleibt auch dann bestehen, wenn das Instrument geerdet wird. Der Ausschlag bleibt jedoch nicht bestehen, wenn keine Emanation vorhanden ist und man eine Aufladung der Elektrode mit Hilfe eines dichten Präparates erzeugt hat. In diesem Falle wird der Ausschlag nur durch die Gamma-Strahlung des Präparates erzeugt werden. Diese ist aber im gleichen Augenblick wieder verschwunden, in dem das Präparat entfernt wird. Wenn aber Emanation in dem Raume B vorhanden ist, dann bleibt der Ausschlag nach Maßgabe der Zerfallszeit der Emanation (Halbwertszeit = 3,7 Tage) bestehen, sofern der Hahn H und der Schliff S genügend dicht schließen.

Auf diese Weise ist eine genaue Unterscheidung eines durch Emanation hervorgerufenen Ausschlages (undichtes Präparat) und eines durch Gamma-Strahlen entstandenen Ausschlages (dichtes Präparat) möglich.

Die Prüfung eines undichten Präparates hat demnach bei unserm Verfahren in folgender Weise zu geschehen:

Das Präparat wird in den Raum A eingeführt, der durch den Stopfen S luftdicht abgeschlossen wird. Dann wird eine halbe Minute bei geöffnetem Hahn H gewartet, wobei dann das Elektrometer einen Ausschlag zeigt. Der Hahn wird dann geschlossen und das Präparat entfernt.

Dabei ergeben sich dann folgende Möglichkeiten:

dichtes Präparat:	der Ausschlag des Elektrometers geht auf 0 zurück.
undichtes Präparat:	der Elektrometerausschlag bleibt bestehen.

ZUSAMMENFASSUNG.

1. In der vorliegenden Arbeit wird ein Verfahren beschrieben, das eine schnelle und zuverlässige Radiumemanationsbestimmung ermöglicht.

2. Die Abhängigkeit der Meßanzeige in der angegebenen Versuchsanordnung von der Kammerspannung und vom Kammervolumen ist untersucht worden.

3. Das neue Verfahren wird mit den bisher gebräuchlichen Methoden zur Emanationsbestimmung verglichen.

4. Es wird die Möglichkeit der Intensitätenmessung an radioaktiven Salben sowie zur Emanationsschutzmessung in radioaktiv-verseuchten Räumen erörtert.

5. Es wird die Anwendung des neuen Verfahrens zur Dichtigkeitsmessung radioaktiver Präparate beschrieben.

Die vorliegende Arbeit wurde im Jahre 1937 in der Physikalischen Abteilung des Allgemeinen Institutes gegen die Geschwulstkrankheiten im Rudolf-Virchow-Krankenhause zu Berlin durchgeführt.

Für die Überlassung von Geräten und für die liebenswürdige und unterstützende persönliche Förderung meiner Arbeit danke ich Herrn Professor Dr. Cramer und Herrn Dr. Hasché an dieser Stelle herzlichst.

Meine akademischen Lehrer waren die Professoren:

in Jena: Gräper, Meyer-Steinegg, Renner, Sieverts, Wien.

in Berlin: Fick, Friedel, Hesse, Kopsch, Krause, Nernst, Schlenk, Steudel, Trendelenburg, Weißenberg, Behrens-Behrend, v. Bergmann, Bessau, Beyer, Bier, Bonnhoeffer, Brühl, Czerny, v. Eicken, Friebös, Frommolt, Gocht, Gohrbandt, Gottron, Hahn, Heymann, Heubner, His, Krückmann, Lenz, Müller-Heß, Petow, Philipp, Rössle, Rütz, Sauerbruch, Schürmann, Schütz, Stahl, Stöckel, Wagner.

SCHRIFTEN:

I. Curie: C. R. **176,** 1462, 1923.
P. Curie: Journ. chim. phys. **22,** 142, 1925.
H. Fonowitz: Wien. Ber. **128,** 761, 1919.
H. Fränz: Z. S. für Physik **44,** 757, 1927.
W. Friedrich: Strahl, Ther.. **54,** 397, 1935.
W. Friedrich u. W. Noethling: Pharmaz. Z. 1936, S. 1047, 1130, 1238, 1333.
F. Gudzent: Die Radiumtherapie. Leipzig 1929.
Handbuch der gesamten Strahlenheilkunde. Bd. II. München 1928.
P. Happel: D. M. W. 1274, 1934.
G. v. Hevesy u. F. Paneth: Lehrb. d. Radioaktivität. Leipzig 1931.
S. Maracineanu: C. R. **177,** 682, 1923.
S. Meyer u. E. Schweidler: Radioaktivität. Leipzig 1927.
J. Stoklasa: Biologie des Radiums und Uraniums.. Berlin 1932.
H. Tschelnitz: Strahl. Ther. **58,** 1, 1937.
v. d. Velden: Fortschritte der Ther., **11,** 179, 1935.
E. Witte: Strahl. Ther. 46, 374, 1933.

LEBENSLAUF.

Am 23. Mai 1909 wurde ich, Hilde Jüterbock, als Tochter des Mittelschulkonrektors Karl Jüterbock und seiner Ehefrau Hedwig geb. Witzke in Berlin geboren.

In Berlin besuchte ich zunächst die Langesche Höhere Töchterschule, dann das Sophien-Lyceum bis zum Abschluß und zuletzt das Königstädtische Oberlyceum, wo ich im Februar 1929 die Reifeprüfung bestand.

Das medizinische Studium begann ich im Sommersemester 1929 an der Universität in Jena. Vom 2. Semester ab war ich ohne Unterbrechung an der Friedrich-Wilhelms-Universität in Berlin immatriculiert, wo ich nach dem Sommersemester 1931 das medizinische Vorexamen und am 6. Juni 1935 das ärztliche Staatsexamen bestand. Mein Praktisches Jahr leistete ich im Städt. Rudolf-Virchow-Krankenhause zu Berlin ab, und zwar auf der Inneren, der Chirurgischen und der Dermatologischen Abteilung.

Nach meiner Bestallung am 15. Juli 1936 hatte ich mehrere Assistenzarztstellen inne und habe Vertretungen in der Allgemeinen Praxis gemacht.